

前置 BAF 组合工艺中水解酸化池的工艺特点及预处理效能分析

李辉耀^{1,2}, 韩洪军^{3,4*}

(1. 日本滋贺县立大学环境科学系, 日本 滋贺 522-8533; 2. 茅台学院, 贵州 遵义 564507; 3. 哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150090; 4. 哈尔滨工创环保科技有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 简略介绍了我国城市污水处理所面临的问题以及国内水解酸化工艺的研究现状, 并进一步探讨了水解酸化池的工艺原理及其特点。结合实验, 分别从废水中 SS 的去除、出水可生化降解性、对后续系统脱氮负荷的影响 3 个方面, 对水解酸化池作为前置 BAF 组合工艺中的预处理单元的预处理效果进行了分析。结果表明, 水解酸化池可有效降低 SS 浓度, 平均浓度低于 70 mg/L; 可显著提高出水的可生化性, 出水 B/C 的范围为 0.43~0.55; TN 平均去除率提高了 30% 以上, 有效降低了后续处理单元的脱氮负荷。

关键词: 水解酸化池; 前置反硝化; 可生化性; 脱氮负荷

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2021)06-0221-03

DOI: 10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2021.06.045

Efficiency study on process characteristics and preprocessing of hydrolysis acidification pool for pre-denitrification biologically aerated filter

LI Hui-yao^{1,2}, HAN Hong-jun^{3,4*}

(1. School of Environment and Science, The University of Shiga Prefecture, Shiga 522-8533, Japan; 2. Moutai Institute, Zunyi 564507, China; 3. Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 4. Harbin Gongchuang Environmental Protection Technology Company, Harbin 150090, China)

Abstract: China's existing problems in urban sewage treatment and current research status in hydrolysis acidification process are briefly introduced, and the process principle and characteristics of hydrolysis acidification pool are further discussed. Combined with experiments, the pretreatment effect by using a hydrolysis acidification pool as pretreatment unit for pre-denitrification biologically aerated filter is analyzed from three aspects, including SS removal from wastewater, biochemical degradability of effluent, and influences on denitrification load of subsequent system. The results show that hydrolysis acidification pool can effectively reduce the concentration of SS and make its average concentration drop to less than 70 mg · L⁻¹. Hydrolysis acidification pool can also improve the biodegradability of effluent significantly, with an effluent B/C ratio in the range of 0.43-0.55. Average removal rate of TN is increased by more than 30%, which reduces the denitrification load of subsequent system effectively.

Key words: hydrolysis acidification pool; pre-denitrification; biodegradability; denitrification load

随着中国城市化建设的高速发展, 我国城市的水污染问题日渐严峻。同时现有的城市污水处理厂也普遍存在着建设成本高、占地面积大、处理效率低、能源消耗大等多方面问题。尤其在占地面积方面与各地区日益加快的城市化建设之间存在着难以调和的矛盾^[1]。因此, 探求能源消耗低、占地面积小且符合中国国情的污水处理新工艺, 成为了近几年来我国城市污水处理研究的主要方向^[2]。相比于传统污水处理工艺, 水解酸化-前置 BAF 组合工艺在城市生活污水处理上具有投资、占地面积小; 增加废水可生化降解性; 有效控制废水中 SS 浓度; 降

低后续系统脱氮负荷; 降低系统各项工艺参数要求; 增强系统整体的耐冲击性等特点^[3]。本文中重点论述了在前置 BAF 组合工艺中, 水解酸化池的工作原理及其特点。并且通过与普通沉淀池的对照实验, 对水解酸化池的预处理效能进行了比较分析。

1 工程概况

实验用水来自大连市某污水处理厂, 日处理水量约为 8 万 m³, 采用水解酸化前置 BAF 组合工艺处理该市日常生活污水。设计最低水温 12℃, 最高水

收稿日期: 2020-07-10; 修回日期: 2021-04-08

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔教合 KY 字[2018]461)

作者简介: 李辉耀(1985-), 男, 博士生, 研究方向为污水治理与应用技术、面源污染与水体污染负荷, toalzl@163.com; 韩洪军(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为污水生物处理理论与应用技术、水体生态修复再生机理, 通讯联系人, 13946003379@139.com。

温 25℃,出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 排放标准。设计进出水水量及水质参数如表 1 所示。

表 1 设计进出水水质参数 mg/L

参数指标	COD	BOD ₅	SS	TN	NO ₃ -N	TP	pH
设计进水	380	200	300	35	25	3.5	6~9
出水标准	≤50	≤10	≤10	≤15	≤5/8	≤0.5	6~9

注:温度高于 12℃ 时,NO₃-N 出水标准为 5 mg/L;温度低于 12℃ 时,NO₃-N 出水标准为 8 mg/L。

2 工艺流程

如图 1 所示,污水经过粗中细格栅截除掉漂浮物后,进入旋转式沉砂池过滤砂石,随后流入水解酸化池中沉淀排泥。出水随一部分硝化液回流一同流入反硝化生物滤池中进行脱氮作用。DN 池出水投加适量 FeCl₃ 药剂进行化学除磷后,流入 CN 池进行硝化反应。最后,经过紫外线消毒槽排入海水。

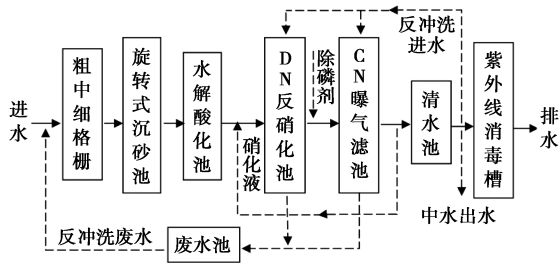


图 1 工艺流程

3 实验仪器及方法

3.1 实验仪器

水解酸化池实验模型为长 800 mm、侧面直径 500 mm 的圆形塑料桶,总容积约 70 L。结构示意图如图 2 所示,由下到上分为配水区、污泥层及清水层,另设置配水管和排泥管。进水为该污水处理厂经旋转式沉砂池后的污水,出水从底部流入后续的 DN 反硝化生物滤池中。

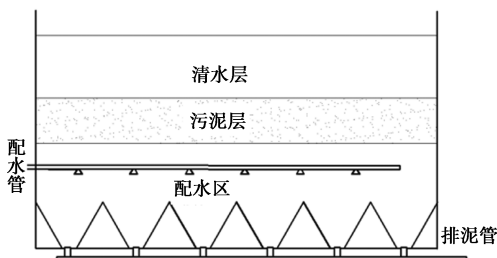


图 2 水解酸化池结构示意图

DN 池和 CN 池的实验模型由外径 150 mm、高 1 200 mm 的圆柱形有机玻璃加工而成,水流采用上向流形式,污水由底部进入,上部排出。容器底部下设有曝气头,50 mm 高的鹅卵石承托层,以及填充高度 800 mm 的滤料。DN 池的底座高度比 CN 池高出 500 mm,便于 DN 池出水自流入 CN 池中。

3.2 检测方法

水质所用的分析方法均按照国家环境保护局发布的标准方法和科技文献出版社出版的方法^[4],各项水质检测项目、分析方法和检测仪器如表 2 所示。

表 2 水质检测的分析方法及仪器

检测项目	分析方法	检测仪器
悬浮物(SS)	重量法	分析天平、抽滤装置
氨氮(NH ₄ ⁺ -N)	纳氏试剂分光光度法	紫外-可见分光光度计
硝酸盐氮(NH ₃ -N)	麝香草酚分光光度法	紫外-可见分光光度计
亚硝酸盐氮(NH ₂ -N)	N-(1-萘基)-乙二胺分光光度法	紫外-可见分光光度计
总氮(TN)	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	紫外-可见分光光度计
总磷(TP)	钼酸铵分光光度法	紫外-可见分光光度计
五日生物需氧量(BOD ₅)	稀释接种法	培养箱
化学需氧量(COD)	重铬酸钾法	酸式滴定管、回流冷却管
pH	—	pH 测定仪

注:水质检测过程中所用到的药品均为分析纯试剂。

4 水解酸化池的预处理效能分析

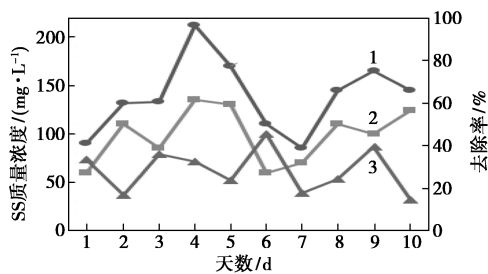
为进一步研究水解酸化池在前置 BAF 组合工艺中的重要性,在 SS 去除效果、可生化性、对后续 DN 池中脱氮效能的影响 3 个方面,对水解酸化池的预处理效能进行比较分析。

4.1 对废水中 SS 的去除效果分析

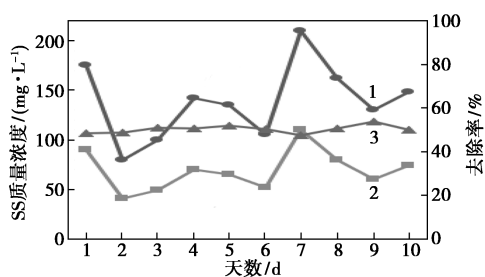
为防止对后续曝气生物滤池造成堵塞,延长反冲洗周期,水解酸化池作为预处理阶段对出水的 SS 浓度和 C/N 比 2 项指标要求较高。其中 SS 浓度一般需控制在 100 mg/L 以下,低于 60 mg/L 为佳^[5]。

如图 3 所示,将水温控制在 18±2℃ 范围内,分别对普通沉淀池和水解酸化池进行 SS 去除实验,为期 10 d。实验结果表明,两者进水参数相同,SS 浓度最小值为 80 mg/L,最大值为 210 mg/L,平均浓度

为 145 mg/L。普通沉淀池的出水 SS 平均浓度为 98.4 mg/L,水解酸化池的 SS 平均浓度为 69.1 mg/L;平均去除率分别为 28.9% 和 50.3%。可见两者 SS 去除率相差 20% 以上,说明水解酸化池对 SS 的处理效果显著。



(a) 普通沉淀池



(b) 水解酸化池

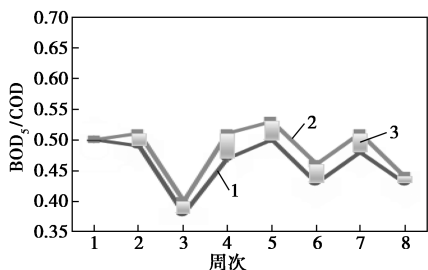
1—进水;2—出水;3—去除率

图3 水解酸化池对SS的去除效果

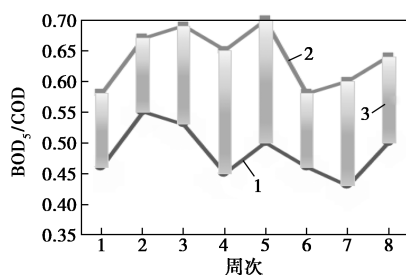
4.2 出水可生化性对比分析

BOD_5/COD 是衡量污水可生化降解性的重要指标,通常以 $B/C = 0.3$ 作为污水可生化降解的下限^[6]。分别对普通沉淀池和水解酸化池进行可生化降解实验,将水温控制在 $18 \pm 2^\circ C$ 范围内,每周进行 1 次测量,持续 8 周,进而测定 2 种预处理工艺对废水可生化性的影响。

如图 4 所示,普通沉淀池出水 B/C 比为 0.38~0.50,平均可生化性提高值为 0.03;水解酸化池出水 B/C 比为 0.43~0.55,平均可生化性提高了 0.15。实验结果表明,相比于普通沉淀池水解酸化池能更大程度上提高出水的可生化性,有效降低了后续系统的脱氮负荷。



(a) 普通沉淀池



(b) 水解酸化池

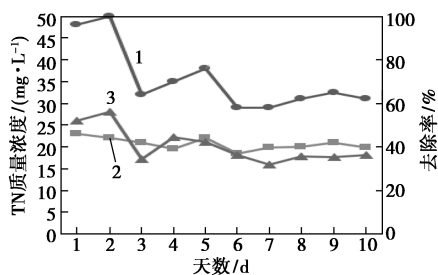
1—进水;2—出水;3— BOD_5/COD

图4 出水可生化性对比

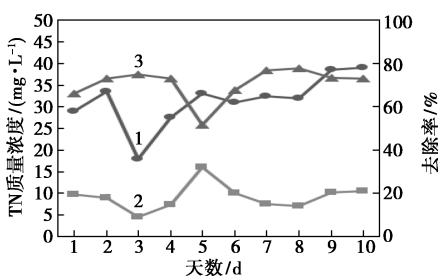
4.3 对后续DN池的脱氮效能的影响

依次将普通沉淀池和水解酸化池作为 DN 反硝化生物滤池的预处理池,控制温度在 $18 \pm 2^\circ C$ 条件下持续运行 10 d,为使后续 DN 池进水中 $NO_3^- - N$ 含量保持一致,需人为投加浓度为 20 mg/L 的适量 $NO_3^- - N$ 溶液。

如图 5 所示,两者的 TN 平均去除率分别为 40.4% 和 70.8%,采用水解酸化池作为预处理池比普通沉淀池的 TN 去除率提高了 30% 以上。实验结果证明,水解酸化池作为前置反硝化曝气生物滤池的预处理阶段,在系统整体的脱氮效能方面要优越于普通沉淀池。



(a) 普通沉淀池



(b) 水解酸化池

1—进水;2—出水;3—去除率

图5 水解酸化池对后续DN池脱氮效能的影响

5 结论

通过对比普通沉淀池与水解酸化池对 SS 的去
(下转第 227 页)

天然气产品中,9.62万t转入到甲醇中,3.87万t转入到乙二醇产品中,1.0万t转入到副产品中,仅有2.51万t氢元素在甲醇合成和乙二醇合成反应中损失,煤制天然气联产甲醇和乙二醇过程氢元素利用率为91.3%。

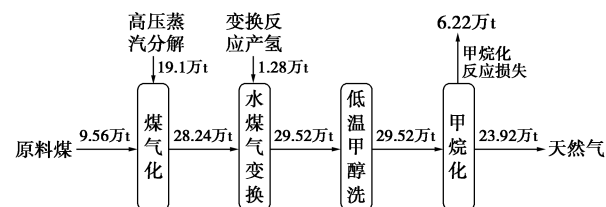


图5 煤制天然气过程氢元素流分析

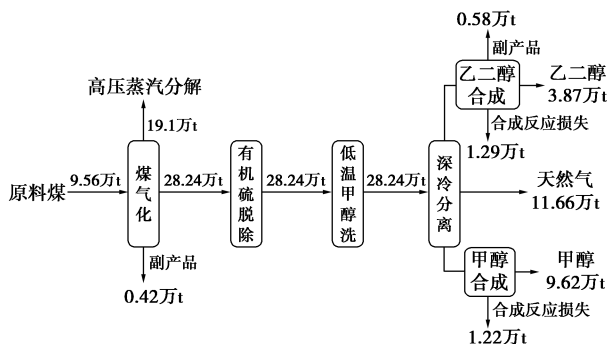


图6 煤制天然气联产甲醇和乙二醇过程氢元素流分析

氧元素流分析。煤制天然气过程输入的氧元素主要来自于3部分,如图7所示,一部分是原料煤,一部分是空分装置带入的氧元素,另一部分是水分解带入的氧元素,总输入量为330.5万t,然而仅有少量的氧以副产品的形式转化进入产品中,大部分的氧以 CO_2 的形式损失,52.6万t的氧在甲烷化合成过程中以 H_2O 的形式损失。煤制天然气联产甲醇和乙二醇过程输入的氧元素主要来自于3部分,如图8所示,一部分是原料煤,一部分是空分装置带入的氧元素,另一部分是水分解带入的氧元素,总输入量为341.87万t,其中有66.86万t氧元素转入到产品中,氧元素利用率为19.6%。其中大部分氧以 CO_2 的形式损失,少量在乙二醇合成反应器和甲醇合成反应器产生 H_2O 损失。

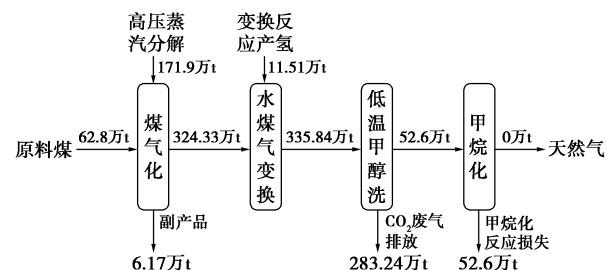


图7 煤制天然气过程氧元素流分析

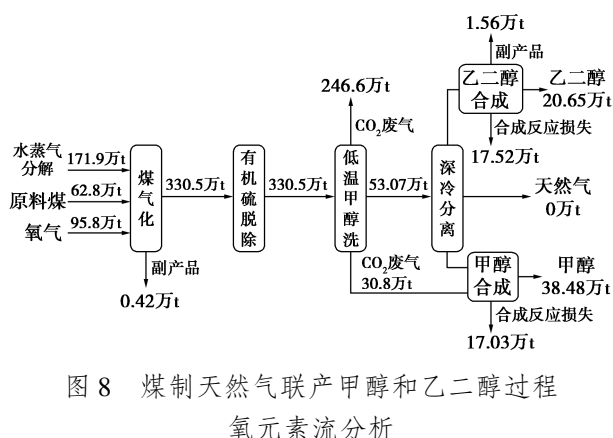


图8 煤制天然气联产甲醇和乙二醇过程氧元素流分析

通过物质流分析可以发现,煤制天然气联产甲醇和乙二醇工艺相比于煤制天然气工艺在碳、氢、氧元素利用上均有所增加,其中碳元素增加9.9万t,氢元素增加1.81万t,氧元素增加60.69万t,煤制天然气联产甲醇和乙二醇工艺元素利用率增加主要是因为产品结构的优化,大幅增加了氧元素的利用效率,以及通过工艺系统集成,提高了碳、氢元素的回收利用。

4 结论

煤制天然气产业是我国重点鼓励发展的新型煤化工产业之一,煤制天然气联产化学品是煤制天然气升级示范重要方向,通过升级示范有利于破解产业发展瓶颈,实现可持续发展。煤制天然气联产化学品过程通过产品结构优化、工艺系统集成等工艺优化实现碳、氢、氧资源的高效利用。通过理论分析,煤制天然气联产化学品过程相比于煤制天然气过程在工艺系统方面存在明显的技术竞争优势。在相同的原料消耗情况下,煤制天然气联产化学品过程相比于煤制天然气过程产品产量增加64.8%。煤制天然气联产过程元素利用率增加主要是因为产品结构的优化,大幅增加了氧元素的利用效率,以及通过工艺系统集成,提高了碳、氢元素的回收利用。

参考文献

- [1] 安文忠,田普州,齐凯.中国煤制天然气产业现状、发展机遇与挑战[J].煤化工,2018,(3):7-11.
- [2] 周明灿,刘伟,王照成.煤化工发展历程及现代煤化工展望[J].煤化工,2018,46(3):1-6.
- [3] 朱彬彬.如何提升煤制燃料产业的定位[J].能源,2019,123(3):79-82.
- [4] 边际.现代煤化工步入升级示范关键时期[J].上海化工,2017,42(12):2.
- [5] 刘永健,吴秀章,王鹤鸣,等.煤制天然气联产化学品工艺路径探讨与分析[J].化工进展,2019,38(7):3111-3116.
- [6] 李安学.现代煤制天然气工厂概念设计研究[M].北京:化学工业出版社,2015.■